

近色背景中树上绿色苹果识别方法*

张春龙¹ 张 楫² 张俊雄¹ 李 伟¹

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 卡内基·梅隆大学机器人研究所, 匹兹堡, 宾夕法尼亚州 15213)

摘要:为实现大型果园生产中果实产量监控和预测,研究了基于机器视觉的树上绿色苹果识别方法。为彩色相机配备一环形闪光灯用于夜间苹果树的图像采集,设计了以归一化的 g 分量和HSV颜色空间中 H 、 S 分量为特征参数的支持向量机(SVM)分类器和以超绿算子($2G-R-B$)为特征的阈值分类器组合而成的混合分类器,实现了绿色苹果在近色背景中的有效识别;针对识别结果中的果实粘连情况,通过计算区域面积以及区域长、短轴之比,识别粘连区域,并对粘连果实区域图像进行欧氏距离变换,进而针对粘连区域距离变换图像采用分水岭算法进行分割,可将大部分粘连果实分开,并最终实现近色背景中绿色苹果的识别与计数。通过对64幅果树图像实验表明,该方法平均识别正确率为89.30%。

关键词: 绿色苹果 近色背景 机器视觉 支持向量机 分水岭

中图分类号: TP391.4; S24 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)10-0277-05

引言

现代化大规模果园管理中,生产者希望时刻掌握果实生长情况,以采取相应农艺措施获得高产,而传统人工监测方式耗时费力且精度较低。近年来,科研人员开始采用视觉技术监控和预测果园产量,以降低劳动量和提高结果精度。尽量准确地识别树上果实,对监测精度至关重要。Stephen等^[1]搭建了彩色视觉系统采集葡萄藤长势图像,利用感兴趣区域的形状及纹理等特征将绿色葡萄从绿色背景中识别出来;Linker等^[2]设计了基于颜色、纹理、种子区域和边缘形状等特征的绿色苹果识别计数四步法,实现了自然光照下的绿色苹果识别与计数;蔡健荣等^[3]采用 $2R-G-B$ 算子提取成熟柑橘区域,利用 S 和 I 分量组合提取边界以分离粘连目标;吕强等^[4]采用 $G-B$ 色差分割树上柑橘,利用4-连通距离变换的分水岭方法分割粘连果实区域;其他科研人员还提出多种利用颜色及纹理等方法识别果实,并对粘连和遮挡等问题进行了探索^[5-8]。

本文利用夜间果树图像,分析绿色苹果区域与近色背景的特征区别,设计基于颜色特征的分类器对其加以区分,并对相互粘连的苹果区域的分离方法进行研究与实验验证。

1 实验设备及条件

实验所需采集系统如图1所示,该系统主要由一果园用四轮移动平台搭载配有人工环形光源的相机组成。图像于2012年6月27日晚间采集于美国华盛顿州WSU Sunrise苹果园,绿色苹果品种为Granny smith,果树种植模式、车与果树行的相对位置(相机中心与树干间距离约为2 m)及夜间所采图像如图2所示。



图1 图像采集系统

Fig. 1 Image acquisition system

1. 移动平台 2. 闪光灯 3. 相机

图像采集系统中,相机为Nikon D300s型数码单反相机配广角镜头,采图时焦距为13 mm,其他参数为:光圈 $f/7.1$,快门 $1/250$ s,感光度ISO 250。人工环形光源为美国Paul C. Buff, Inc.生产的ABR800环形闪光灯。采集图像时,相机同步触发环形闪光灯闪亮以提供瞬时高亮光源,移动平台车

收稿日期: 2013-07-04 修回日期: 2013-12-03

* 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2013AA102406)和国家自然科学基金资助项目(31301232、31101079)

作者简介: 张春龙, 博士生, 主要从事农业机器人研究, E-mail: zcl1515@cau.edu.cn

通讯作者: 李伟, 教授, 博士生导师, 主要从事农业机器人研究, E-mail: liww@cau.edu.cn



图2 图像采集

Fig. 2 Image acquisition

速为 0.25 m/s,采集频率为 1 Hz。

2 绿色苹果识别

2.1 基于 SVM 的苹果目标与非目标分类

支持向量机(Support vector machine, SVM)是由 Vapnik 等于 1995 年提出的一类基于统计学习理论的模式识别方法^[9-10]。为探究图像中绿色苹果目标区域与图像背景区域像素点特征信息的差异,选择适当的特征组合构成支持向量机方法的分类特征向量,将图像分为苹果目标区域和非目标区域两类,对各区域分别采集一定数量样本,采集苹果目标区域样本时需包含苹果的反光区域和较暗区域;采集非目标区域样本时,需选择枝干、叶子、地面背景等物体的反光和较暗区域像素点。对采集的样本在 RGB 颜色空间和 HSV 颜色空间中对各分量及分量组合进行比较分析,选用归一化 g 和 HSV 空间中色调分量 H 和饱和度分量 S 组合构成分类特征向量。

$$\begin{cases} r = R / (R + G + B) \\ g = G / (R + G + B) \\ b = B / (R + G + B) \end{cases} \quad (1)$$

式中 r, g, b ——RGB 颜色空间中 R, G, B 分量归一化结果

苹果目标和非目标区域的 g, H, S 值分布如表 1 所示。

表 1 目标与非目标区域所选颜色分量值分布

Tab. 1 Selected color features for classification

颜色特征	苹果目标区域			非目标区域		
	范围	均值	方差	范围	均值	方差
g	0.439 ~ 0.831	0.675	0.004 4	0.368 ~ 0.500	0.422	0.000 6
H	0.185 ~ 0.232	0.201	0.000 1	0.286 ~ 0.372	0.323	0.000 3
S	0.226 ~ 0.809	0.545	0.012 2	0.151 ~ 0.514	0.327	0.005 2

使用 Matlab 7.11.0 并利用台湾大学林智仁教

授团队开发的 libsvm 工具包^[11]进行目标与非目标分类。分类时选用 RBF 径向基核函数

$$K(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \exp(-\gamma \|\mathbf{x} - \mathbf{y}\|^2) \quad (2)$$

式中 \mathbf{x}, \mathbf{y} ——样本中任意两点的特征向量

采用 5 折交叉验证法寻找惩罚因子 c 和核函数宽度 γ 的最优参数取值分别为 10.556 1 和 0.031 2。对样本进行训练并测试,分类结果如表 2 所示,以训练结果所得模型为依据对果树夜间图像(图 3a)进行分类,结果如图 3b 所示。

表 2 测试样本分类结果

Tab. 2 Classification results of test samples

识别结果	苹果目标	非目标
实际个数	7 370	27 805
识别为苹果个数	6 385	1 301
识别为非目标个数	985	26 504
识别率/%	86.64	95.32

2.2 超绿算子(2G-R-B)提取苹果区域

由基于 SVM 的苹果区域提取结果(图 3b)可见,结果中存在细小噪声及少数反光较强的叶片区域。通过分析苹果区域及噪声点的各颜色分量发现,两者间的超绿特征(2G-R-B)存在较大差异。故进一步采用超绿算子对目标与噪声区域进行灰度化,并采用最大类间方差(Otsu)法自适应确定对灰度图像二值化时所需的阈值 T ,并据此获得分类后的果树二值图像,计算式为

$$I = \begin{cases} 0 & (2G - R - B > T) \\ 255 & (2G - R - B \leq T) \end{cases} \quad (3)$$

实验发现,所得二值图像中存在部分小区域,包含叶片边角及被大面积遮挡的苹果等,经进一步的滤波、小面积去除(面积阈值为可容忍的遮挡比例最大的苹果区域面积,经统计设置为 40 像素),所得结果如图 3c 所示。

3 粘连苹果区域的分割

实验中发现,常存在因多个苹果簇拥生长、拍摄角度等原因造成的苹果区域相互粘连等现象,如图 4 所示,如不加以区分,势必会对苹果计数准确度产生影响。

先对粘连区域二值图像进行空洞填充和欧氏距离变换,得到距离图像,再利用分水岭算法对该距离图像进行粘连目标的分割。

3.1 粘连苹果区域的判定

在判别粘连区域时,采用计算区域面积以及区域长、短轴之比的方法(图 5):依据统计结果,如区域面积大于 3 倍苹果区域平均面积(判别 3 个及以上粘连),判定为粘连区域;如果其长、短轴之比大



图 3 图像分类过程

Fig. 3 Results of image classification

(a) 夜间所采集图像 (b) SVM 分类结果 (c) 2G-R-B 和 Otsu

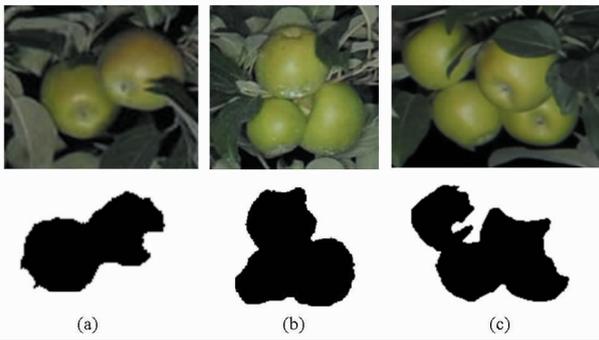


图 4 粘连苹果示意图

Fig. 4 Connected apple area

(a) 2 个苹果粘连 (b) 3 个苹果粘连 (c) 4 个苹果粘连

于 1.4 且面积大于 2 倍平均面积(针对 2 个苹果粘连,用长短轴和面积 2 个参数可减少单个较大苹果被部分遮挡后误判为粘连),认为区域粘连,即

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

式中 \bar{A} ——区域平均面积

A_i ——图像集中各区域面积

n ——图像集中全部区域总数

$$Q_i = \begin{cases} 1 & (A_i > 3\bar{A} | (2\bar{A} < A_i \leq 3\bar{A} \ \& \ l/s > 1.4)) \\ 0 & (A_i \leq 2\bar{A} | (2\bar{A} < A_i \leq 3\bar{A} \ \& \ l/s \leq 1.4)) \end{cases} \quad (5)$$

式中 l ——区域长轴长度

s ——区域短轴长度

1 表示粘连,0 表示无粘连。

3.2 欧氏距离图像变换

在距离变换结果图像中,目标点的灰度表示该点到最近背景点的距离^[12-13]。如用二维数组 $Q[m][n]$ 表示一张 $m \times n$ 的二值图像, $Q[i][j] = 0$ 为目标点, $Q[i][j] = 255$ 为背景点,设 B 为背景点集合,则对所有 $Q[i][j] = 0$ 的目标点的欧氏距离

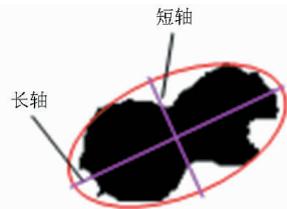


图 5 区域长、短轴示意图

Fig. 5 Major and minor axes of individual area

变换计算式为

$$D[i][j] = \min \{ \sqrt{(i-x)^2 + (j-y)^2}, (x,y) \in B \} \quad (6)$$

式中 $D[i][j]$ ——目标点距离,即其灰度

按上述方法对图 4 中各粘连区域进行欧氏距离变换,为方便后续分水岭算法操作,此处将距离变换结果取反,如图 6 所示。

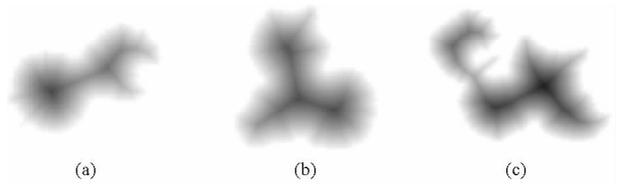


图 6 取反后的欧氏距离变换图像

Fig. 6 Reversed distance transformation

(a) 2 个苹果粘连 (b) 3 个苹果粘连 (c) 4 个苹果粘连

3.3 分水岭算法分割粘连区域

粘连区域距离变换图像的三维地形如图 7 所示。可见,灰度越大的像素所在位置地势越高,而灰度小的局部区域便形成了低洼地带,即“汇水盆地”,相邻汇水盆地的交界点以及盆地的边缘便是山脊,即“分水岭”。本实验中采用经典的“模拟浸水法”寻找汇水盆地间的分水岭线,进而实现粘连区域的分割^[12-15],分割效果如图 8 所示。

实验发现,部分粘连苹果区域经分水岭算法无法正确分开,分割后的子区域在少数情况下仍存在

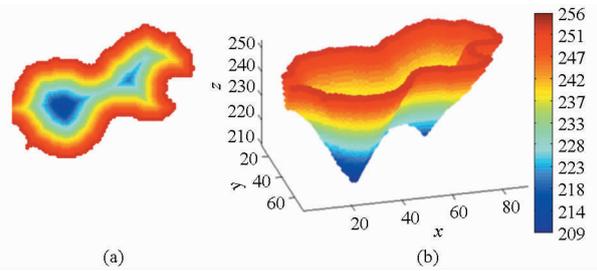


图7 欧氏距离变换的3D地形图

Fig.7 3D map of distance transformation

(a) 俯视图 (b) 轴测图

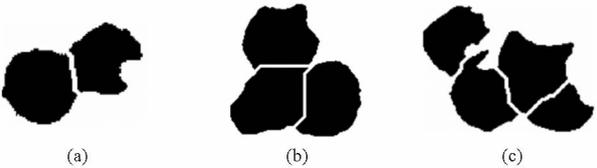


图8 分水岭分割结果

Fig.8 Result of watershed method

(a) 2个苹果粘连 (b) 3个苹果粘连 (c) 4个苹果粘连

粘连现象或过分割。实验时,分水岭分割后,继续判断子区域中是否仍然存在粘连,若仍有粘连,以苹果平均面积为基数进行等分;若有面积过小的子区域(面积阈值为40像素),则将其去除,进而近似获得粘连子区域的苹果数量。

4 实验与分析

选取在同一果园不同果树行拍摄的64幅夜间果树图像,图像分辨率调整至858像素×570像素,用上述方法分别对图像进行苹果识别,算法平均耗时3.14s。在粘连判别与分割之后,采用区域标记方法对二值图像进行区域数量计算,结果如表3、4所示。其中苹果总数为人工计数结果,人工计数原则为当苹果可见区域大于整个苹果的20%时,即进行计数。实验结果统计分析计算式为

$$\begin{cases} R = c/n \times 100\% \\ R_E = (m - c)/m \times 100\% \\ R_V = c/m \times 100\% \end{cases} \quad (7)$$

式中 n ——苹果总数 m ——识别计数
 c ——正确识别个数 R ——识别率
 R_E ——误识别率 R_V ——识别正确率

表3 实验结果

Tab.3 Results of suggested method

图像序号	苹果总数	识别计数	正确识别个数
1	38	39	36
2	33	34	30
3	46	50	45
⋮	⋮	⋮	⋮
总数	2 661	2 818	2 518

表4 实验结果统计分析

Tab.4 Statistical analysis of results %

项目	识别率	误识别率	识别正确率
均值	94.64	10.86	89.30
方差	4.636 4	7.716 4	7.110 2

误差产生原因分析:①目标区域分类后所得二值图像中,含有少许反光较为强烈的叶片,分析发现,该部分叶片大部分距离相机系统较近,且大部为颜色较浅的叶片背面朝向闪光灯,识别后部分该类噪声呈长条状,被当作粘连区域分割,加剧了误识别。②个别单个苹果经过目标区域分类提取后,所剩面积过小,在粘连分割之前即被滤掉。③在粘连区域分割中,少数多个苹果粘连的区域经分水岭方法产生欠分割或过分割时采用了近似处理方法,引入了部分误差。④个别被单个枝条遮挡的苹果被误识别为两个苹果。

5 结束语

针对绿色苹果在近色枝叶等背景中的识别计数问题展开研究,利用带有人工环形光源的相机系统采集果树夜间图像以避免自然光对图像采集的影响;设计了基于支持向量机(SVM)和基于超绿算子(2G-R-B)的混合分类器,有效地将树上绿色苹果提取出来;针对苹果区域粘连问题,在判别粘连区域后,先将粘连区域二值图像进行欧氏距离变换,再利用分水岭算法将粘连区域分离。实验表明,本方法可有效对树上绿色苹果进行识别计数,平均识别正确率为89.30%,为果园产量监控与预测系统提供了可能的解决方案和技术支撑。

参 考 文 献

- Nuske S, Achar S, Bates T, et al. Yield estimation in vineyards by visual grape detection[C]//Proceedings of the 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS'11), 2011: 2352-2358.
- Linker R, Cohen O, Naor A. Determination of the number of green apples in RGB images recorded in orchards[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2012, 81: 45-57.
- 蔡健荣,周小军,李玉良,等.基于机器视觉自然场景下成熟柑橘识别[J].农业工程学报,2008,24(1):175-178.
Cai Jianrong, Zhou Xiaojun, Li Yuliang, et al. Recognition of mature oranges in natural scene based on machine vision[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(1): 175-178. (in Chinese)

- 4 吕强, 蔡健荣, 赵杰文, 等. 自然场景下树上柑橘实时识别技术[J]. 农业机械学报, 2012, 41(2): 185 – 188.
Lü Qiang, Cai Jianrong, Zhao Jiewen, et al. Real-time recognition of citrus on trees in natural scene[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 41(2): 185 – 188. (in Chinese)
- 5 Wang Qi, Nuske S, Bergerman M, et al. Automated crop yield estimation for apple orchards[M] // Experimental Robotics: The 13th International Symposium on Experimental Robotics, Springer Tracts in Advanced Robotics, 2013, 88: 745 – 758.
- 6 Keresztes B, Lavielle O, Grenier G, et al. Apple yield estimation during the growth season using image analysis[C] // International Conference of Agricultural Engineering, CIGR-AgEng 2012, Paper C – 1661, 2012.
- 7 荀一, 陈晓, 李伟, 等. 基于轮廓曲率的树上苹果自动识别[J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2007, 28(6): 461 – 464.
Xun Yi, Chen Xiao, Li Wei, et al. Automatic recognition of on-tree apples based on contour curvature[J]. Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition, 2007, 28(6): 461 – 464. (in Chinese)
- 8 王辉, 毛文华, 刘刚, 等. 基于视觉组合的苹果作业机器人识别与定位[J]. 农业机械学报, 2012, 43(12): 165 – 170.
Wang Hui, Mao Wenhua, Liu Gang, et al. Identification and location system of multi-operation apple robot based on vision combination[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(12): 165 – 170. (in Chinese)
- 9 王津京, 赵德安, 姬伟, 等. 采摘机器人基于支持向量机苹果识别方法[J]. 农业机械学报, 2009, 40(1): 148 – 151.
Wang Jinjing, Zhao De'an, Ji Wei, et al. Apple fruit recognition based on support vector machine using in harvesting robot[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(1): 148 – 151. (in Chinese)
- 10 Muralidharan R, Chandrasekar C. Object recognition using support vector machine augmented by RST invariants [J]. International Journal of Computer Science Issues (IJCSI), 2011, 8(5): 280 – 286.
- 11 Chang C C, Lin C J. LIBSVM: a library for support vector machines [J]. ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology, 2011, 2(3): 27:1 – 27:27.
- 12 彭卫绘, 谈乐斌. 基于 MATLAB 的粘连小球球径提取方[J]. 计算机系统应用, 2012, 21(6): 191 – 194.
Peng Weihui, Tan Lebin. Extraction of conglutinated small sphere diameter based on MATLAB [J]. Computer Systems & Applications, 2012, 21(6): 191 – 194. (in Chinese)
- 13 丁伟杰, 范影乐, 庞全. 一种改进的基于分水岭算法的粘连分割研究[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(10): 70 – 72.
Ding Weijie, Fan Yingle, Pang Quan. Improved research for over lapping segmentation based on water shed algorithm [J]. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(10): 70 – 72. (in Chinese)
- 14 Hamdi M A. Modified algorithm marker-controlled watershed transform for image segmentation based on curvelet threshold [J]. Canadian Journal on Image Processing and Computer Vision, 2011, 2(8): 88 – 91.
- 15 Bhagwat M, Krishna R K, Pise V E. Image segmentation by improved watershed transformation in programming environment MATLAB [J]. International Journal of Computer Science & Communication, 2010, 1(2): 171 – 174.

Recognition of Green Apple in Similar Background

Zhang Chunlong¹ Zhang Ji² Zhang Junxiong¹ Li Wei¹

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. The Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA 15213, USA)

Abstract: In order to realize the automated estimation of orchard yield, we studied on the recognition method of green apple based on machine vision. An image capturing system composed of a color camera and an active lighting system was used to capture images of apple trees at night. A hybrid classifier including an SVM method based on the advantage of H , S and normalized g and a Super-G method was developed to remove the background. The connected apples were found by the area feature and the ratio of major axis to minor axis of the individual regions. Then we used the Euclidean distance transformation method to generate the distance image of the founded connected apple regions. Finally a watershed method was used to separate the connected apples, and the total number of the apples in image were known. The analysis of experimental results regarding 64 images showed that the average rate of correct recognition was 89.30%.

Key words: Green apple Similar background Machine vision Support vector machine Watershed method